Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 27:4 (2018) 357~362

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.4.357

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

소형 다이어프램 펌프의 성능개선을 위한 개스킷 형상에 대한 연구

윤기원[a], 배현우[a], 성재용[b*], 이명호[b]

Study on Gasket Shape for Performance Improvement of a Small Diaphragm Pump

Gi Won Yun[a], Hyun Woo Bae[a], Jaeyong Sung[b*], Myeong Ho Lee[b]

[a] *Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongreung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea*

[b] *Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongreung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:

Received	24	March	2018
Revised	18	June	2018
Accepted	11	July	2018

Keywords:
Diaphragm pump
Gasket shape
Pump efficiency
Electric tooth brush
Particle clogging

ABSTRACT

In this study, the gasket shape of a small diaphragm pump was investigated to improve the pump performance and efficiency. The present pump is used for an electric toothbrush that automatically drains out gargling water. The discharge and suction areas are selected as a design factor. To simulate debris in gargling water, various diamond particles were mixed into water. The results show that both the flow rate and pump head increase with discharge and suction areas; however, an optimum discharge to suction area ratio of 2.82 exists. In this condition, the pump water power and efficiency are enhanced by about 16% and 27%, respectively. The addition of particles into water decreases the pump performance due to clogging; however, with middle sized particles, the amount of decrease is minimized.

1. 서 론

다이어프램 펌프는 용적식 왕복동 펌프의 한 종류이다. 원심펌프와 같은 기존의 펌프와는 달리 오일이나 그리스 등을 사용하지 않아 이송 유체에 오염이 없다. 따라서 오염에 민감한 유체 이송에 적합하고, 분석기기 ,가스시료채취, 의료기기 등에 주로 사용된다. 또한, 고농도, 고점도, 고형물 혼입액체의 이송이 가능하므로 폐수처리장의 농축슬러지 및 화공약품의 이송 등 다양한 분야에서도 사용되고 있다. 다이어프램 펌프는 격막(다이어프램)과 두 개의 체크밸브 그리고 구동장치로 구성된다. 구동장치에 의해 다이어프램이 진동하면서 유체를 이송시키며 큰 유량부터 미세 유량까지 사용이 가능하다. 다이어프램을 구동하는 방식은 모터의 회전 운동이 편심캠을 통해 다이어프램과 체결된 커넥팅 로드의 직선왕복운동으로 변환되어 작동되는 모터 구동 다이어프램 방식(Motor driven diaphram)[1-5]과 압축공기를 이용한 공기 작동 다이어프램 방식(Air operated diaphragm)[6-9]이 가장 일반적이다. 최근에는 압전(piezoeletic)[10-12], 정전(electrostatic)[13], 열공압(themopneumatic)[14] 등의 방식을 통해 마이크로단위의 미세유량을 조절하기도 한다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 모터구동방식의 소형 다이어프램 펌프의 구조를 나타낸다. 이 펌프는 다이어프램을 구동할 때 발생하는 소음 줄이고 소형화를 위해 개발된 펌프이다. 모터가 회전할 때 편심 캠과 연결된 요동플레이트가 상하요동 운동하면서 다수의 다이어프램을 작동시키는 형태이다. 요동플레이트의 상하 요동길

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6398
Fax: +82-2-949-1458

E-mail address: jysung@seoultech.ac.kr (Jaeyong Sung).

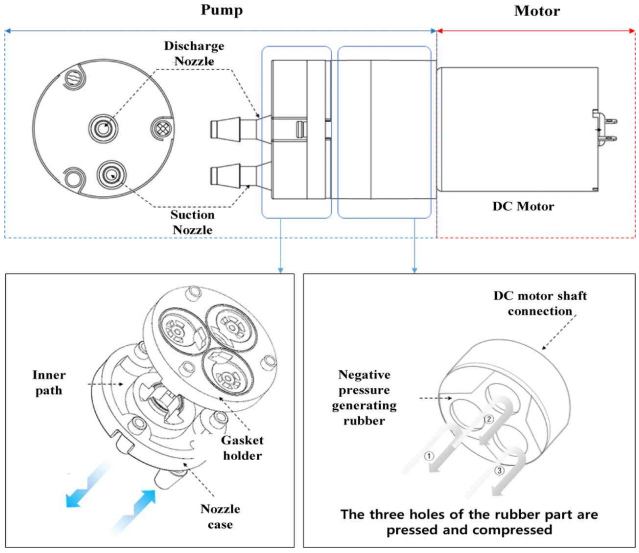


Fig. 1 Schematic of a motor driven diaphragm pump

이가 짧아 밀리리터 단위의 소량의 유량을 이송시킨다는 특징을 가진다[15]. 본 연구에서 사용된 펌프는 석션 기능을 가진 칫솔제품[16]에 사용되고 있어 제품 특성상 이물질이 유입되는 경우가 많아, 펌프 내부의 가이드 유로 역할을 하는 개스킷에 이물질이 쌓이게 되면서 펌프가 액체를 흡입하지 못하는 문제점이 발생하기도 한다.

다이어프램 펌프는 대형, 소형, 마이크로 펌프로 나눌 수 있다. 대형 다이어프램 펌프에 대한 연구는 모터구동 시 맥동압력 감쇄장치에 대한 연구[3-5]와 공기작동방식에서 압축공기를 일정하게 주입하는 연구[6-9]가 주로 진행되었다. 마이크로 펌프[10-14]는 펌프 작동원리와 노즐형상 개선[17]을 통한 성능 향상에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 연구의 대상인 소형 다이어프램 펌프에 대한 기존의 연구를 살펴보면 펌프의 진동 및 소음을 줄이기 위한 방법과 다이어프램의 찢어짐을 방지하는 구조에 연구가 대부분이며[18,19], 펌프 성능 개선에 대한 연구는 미미하다. 특히, 막힘 현상과 관련하여 펌프의 개스킷 형상을 개선하는 방법에 대한 연구는 아직 보고되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 소형 다이어프램 펌프의 막힘 현상을 해소하고 성능을 개선하기 위한 개스킷 형상에 대해 고찰하고자 한다. 개스킷 내 이물질이 쌓이는 부분의 유로 면적을 설계인자로 선정하고, 다양한 크기의 다이아몬드 분말을 이물질로 하여 펌프의 성능 변화를 측정한다. 유로 면적과 분말 크기의 변화에 따른 최적 성능의 개스킷 형상을 찾는다. 그리고 기존 형상 대비 최적 성능 형상에서의 수동력과 효율에 대해 논의하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 2는 펌프의 동작 실험 구현과 데이터를 얻기 위한 실험장치도이다. 펌프에는 8.5 V DC 모터가 독립적으로 일정한 전압(V)에서 구동될 수 있도록 직류전원장치를 연결하였다. 펌프의 석션 및 토출 노즐에 내경이 3 mm인 튜브를 연결하고, 압력센서로 석션압 및 토출압을 측정하였다. 토출부에는 밸브를 설치하여 토출 유량을 변화시켰으며, 매스실린더를 이용하여 토출 유량을 측정하였다. 압력센서(PX309-030G5V, US OMEGA Engineering. Inc)의 측정범위는 게이지압으로 -15-30 psi이고 정확도는 ±0.03%이다. 압력 데이터는 1 kHz로 샘플링하여 1분 동안 얻은 데이터를 평균하였다. 전류계를 이용하여 모터에 인가되는 전류를 측정하였으며, 5초 간격으로 1분 동안 전류를 측정하였다. 압력, 유량, 전류 측정은 각 경우에 대해 5회씩 반복하여 평균된 값을 사용하였다.

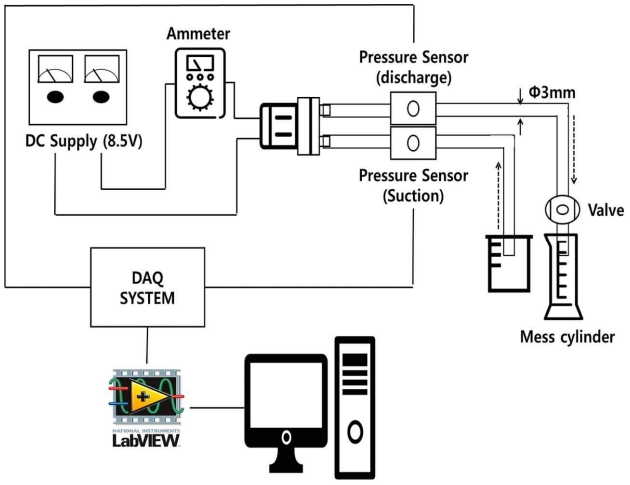


Fig. 2 Schematic of the experimental set up

2.2 다이어프램 펌프 설계 인자

FIg. 3은 개스킷의 기본형상 및 설계인자의 위치를 나타낸다. 펌프 개스킷의 설계인자로는 이물질이 다량으로 쌓이는 유로 면적으로 선정하여 각각을 석션 유로(A_s), 토출 유로(A_d)로 명칭 하였다. 실험에 사용된 펌프 노즐의 직경(d_n)은 2.6 mm으로 일정하며, 석션 및 토출 유로의 면적은 기존 펌프를(A_s : 1.2 mm^2, A_d : 9.6 mm^2)기준으로 3가지씩 변화시켰다. 각 유로의 면적과 석션 대비 토출 유로의 면적비는 Table 1에 나타내었다. 펌프 설계 인자의 변화에 따른 토출 유량(Q)과 펌프 압력(P)을 측정하여 펌프의 수동력(L_w)을 계산하였다. 펌프와 연결된 모터 회로의 전압(V)와 전류(I)를 측정하여 펌프의 소비 전력(L_E)과 효율(η)을 계산하였다. 수동력, 소비전력 및 효율을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$L_w = P \times Q \tag{1}$$

$$L_E = V \times I \tag{2}$$

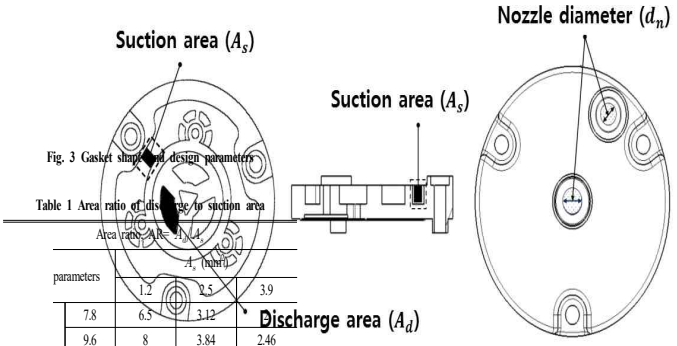
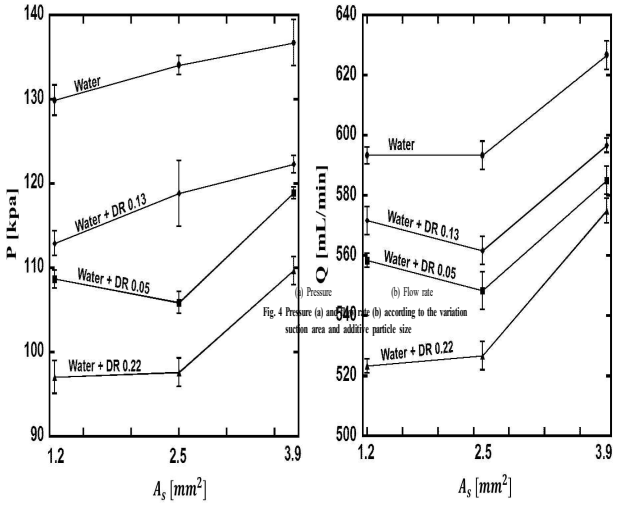


Fig. 3 Gasket shape and design parameters

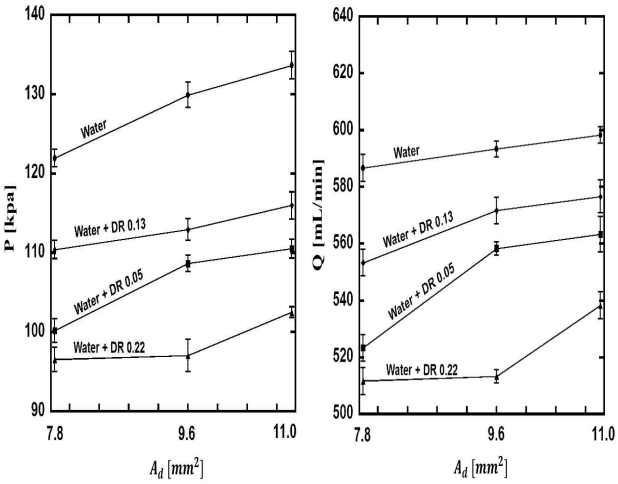
Table 1 Area ratio of discharge to suction area

Area ratio AR = A_d/A_s	A_s (mm²)			
parameters	1.2	2.5	3.9	
7.8	6.5	3.12		
9.6	8	3.84	2.46	
11.0	9.17	4.4	2.82	



(a) Pressure (b) Flow rate

Fig. 4 Pressure (a) and flow rate (b) according to the variation suction area and additive particle size



(a) Pressure (b) Flow rate

$$\eta = \frac{L_w}{L_E} = \frac{P \times Q}{V \times I} \tag{3}$$

실험에 사용된 펌프의 개스킷은 CATIA V5 프로그램을 이용하여 설계하였으며, 3D 프린터(Eden330-Israel Object Geometries)를 사용하여 제작하였다. 실험에 사용된 작동유체는 실제처럼 이물질이 들어올 때 펌프의 성능을 알아보기 위해 물과 이물질의 혼합물을 사용하였다. 이물질로는 점도의 영향을 줄이기 위해 비중이 3.53이고 비수용성인 단결정 입자의 공업용 합성 다이아몬드 분말을 사용하였다. 본 실험에서는 직경(d_p)이 150 μm, 355 μm, 595 μm인 다이아몬드 분말을 사용하였으며, 각각 물 800 mL에 3 g씩 혼합하여 사용하였다. 분말 크기에 따른 펌프의 성능변화를 비교하기 위해, 노즐의 직경(d_n)에 대한 분말의 직경(d_p)의 비(DR)를 구하였다. 즉, DR = d_p/d_n로 하였으며, 실험에 사용된 3가지 분말의 직경비 DR은 각각 0.05 (150 μm), 0.13 (355 μm), 0.22 (595 μm)이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 개스킷의 유로 면적과 분말 크기의 변화에 따른 펌프의 성능변화를 비교하고 최적 성능의 개스킷 형상을 찾고자 한다. Fig. 4와 Fig. 5는 5번 반복 실험하여 얻은 데이터의 표준편차로 오차범위를 나타내었으며, 10%이하의 범위에서 측정되었다. Fig. 4는 토출 유로면적을 A_d = 9.6 mm²로 일정하게 하고, 석션 유로면적과 분말의 크기가 변할 때 펌프의 토출 유량과 압력을 비교한 것이다. Fig. 5는 석션 유로면적을 A_s = 1.2 mm²로 일정하게 하고, 토출 유로면적과 분말의 크기가 변할 때 펌프의 토출 유량과 압력을 비교한 것이다. 이 두 그림에서 펌프의 토출 유로면적과 석션 유로면적이 클수록 펌프의 토출 유량과 압력은 크게 나타난다. 이는 개스킷의 석션 과 토출 유로면적이 클수록 외부 유체를 흡입하거나

배출하는 과정에서 발생하는 유동 저항이 감소하게 된 것이 원인이라고 볼 수 있다. 펌프가 분말을 흡입할 때 나타나는 펌프의 성능변화를 비교해보면 순수한 물이 흡입될 때보다 분말이 흡입될 때 펌프의 토출 유량과 압력이 감소한다. 이는 작동유체가 유로를 지날 때, 유체와 혼합된 분말들에 의해 유체가 통과할 수 있는 유로면

Table 2 Averaged reduction of flow rate, pressure and water power by the addition of particle compared with pure water

Pump performance	DR		
	0.05	0.13	0.22
Q	-16.95%	-12.51%	-22.61%
P	-7.68%	-5.84%	-10.71%
L_w	-23.29%	-17.66%	-30.75%

적을 감소하고 유로벽면과의 마찰이 발생하면서 유동저항이 증가했기 때문으로 보인다.

펌프가 흡입하는 분말의 크기에 따라서 펌프의 토출 유량, 압력, 수동력의 감소율은 다르게 나타난다. Table 2는 펌프가 분말을 흡입할 때 순수한 물에 대한 펌프의 토출 유량, 압력, 수동력의 감소율을 나타낸 것이다. 이는 분말 크기에 따라 9가지의 면적비에서 측정된 값을 평균하여 구하였다. DR = 0.13일 때 토출 유량과 압력의 감소율을 확인해보면 각각 -12.51%, -5.84%이며, 이는 DR = 0.05, 0.22일 때보다 감소율이 작은 것을 확인 할 수 있다. 수동력의 경우 DR = 0.05, 0.22일 때 각각 -23.29%, -30.75%로 -20% 이상의 감소율을 가지는 것에 비해 DR = 0.13 일 때 수동력의 감소율은 -17.66%으로 가장 작은 감소율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 보통 펌프가 이물질을 흡입할 때, 이물질의 크기가 작을수록 펌프의 성능감소율이 작을 것으로 예상된다. 하지만 실험결과 펌프의 성능 감소율은 DR이 0.13, 0.05, 0.22인 순으로, 직경비가 가장 작은 DR = 0.05 일 때보다 직경비가 더 큰 DR = 0.13일 때 펌프의 토출 유량, 압력, 수동력의 감소율이 작았다. 이러한 분말의 크기에 따른 펌프의 성능감소는 개스킷의 석션 및 토출 유료의 면적과 상관없이 동일한 경향을 보인다. 이물질의 크기가 펌프 성능감소에 미치는 구체적인 유체역학적 메카니즘에 대해서는 후속연구를 통해 에 고찰하는 것이 필요하다.

Fig. 6은 개스킷의 석션 유로 면적 대비 토출 유로 면적의 면적비(AR)와 노즐직경에 대한 분말의 직경비(DR)로 수동력 크기를 나타낸 것이다. 개스킷의 석션 유로면적과 토출 유로면적을 크게 하는 것에는 한계가 있다. 기존 개스킷 형상을 기준으로 석션 유로면적과 토출 유로면적을 각각 3가지씩 변경하여 총 9개의 면적비(AR)를 구하였다. 면적비에 따른 수동력 크기를 측정하고, 수동력을 가장 크게 할 수 있는 면적비를 찾아 개스킷의 최적형상으로 선정하였다. Fig. 6의 그래프를 보면 펌프로 흡입되는 분말의 크기와 상관없이 석션 유로면적 대비 토출 유로면적의 비가 2-3 사이일 때 수동력이 가장 크게 나타났다. 자세히 살펴보면 순수한 물 또는 DR = 0.22인 분말을 흡입하는 경우 AR = 2.82일 때 수동력이 가장 크게 나타난다. DR = 0.05과 DR=0.13인 분말을 흡입할 때는, AR = 2.46일 때 수동력이 가장 크게 나타난다. 수동력의

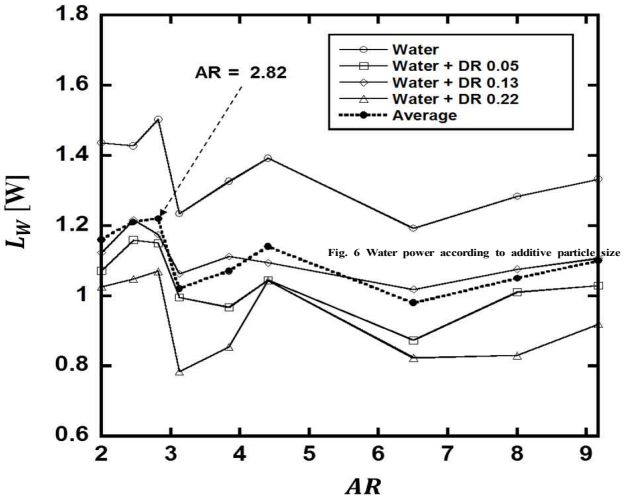


Fig. 6 Water power according to additive particle size

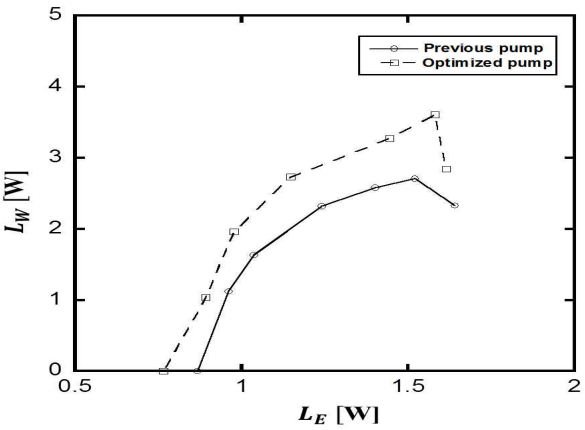


Fig. 7 Comparison of water power for the previous and optimized pumps under the variation of electric power

평균값을 비교해보면, AR = 2.82인 개스킷이 수동력이 가장 크며, AR = 8인 기존의 개스킷보다 수동력이 16.56% 증가하였다.

Fig. 6에서 가장 큰 증가율을 나타낸 2.82의 면적비를 가지는 개스킷을 최적 형상으로 정하고, 이 개스킷을 장착한 펌프를 개선펌프로 설정하였다. 다양한 유량범위에서 기존펌프와 개선펌프의 성능을 비교하기 위해 Fig. 2 실험장치의 토출 측 밸브를 조절하여 소모 전력과 수동력을 측정하였다. 펌프의 소모 전력은 펌프의 토출 유량을 변화시켰을 때 나타나는 모터의 전류를 측정하여 계산하였다. Fig. 7은 소모 전력에 따른 기존펌프와 개선펌프의 수동력 크기를 비교한 것이다. 그 결과 개선 펌프가 기존 펌프보다 동일한 소모 전력에서 펌프의 수동력이 크게 나타난다.

Fig. 8은 펌프의 토출 유량에 따른 압력과 효율을 나타낸 그래프이다. 펌프 효율 곡선을 비교했을 때 개선펌프는 기존 펌프에 비해 최대 효율이 27.39% 향상되었다. 최대 효율 점의 유량은 355.7 mL/min으로 기존 펌프와 개선펌프가 동일하다. 최대 효율 점에서

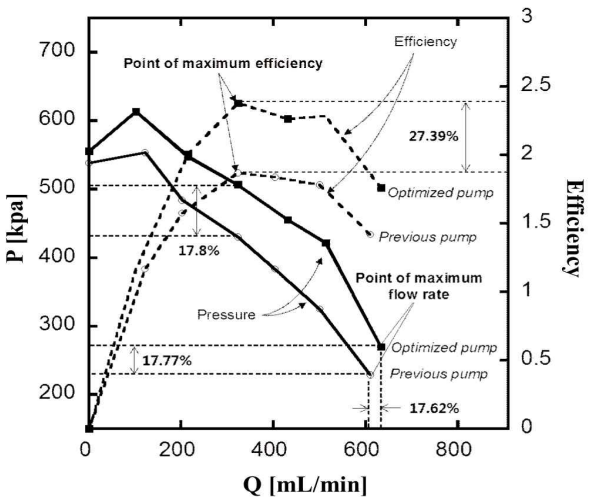


Fig. 8 Comparison of performance and efficiency curves for the previous and optimized pumps

나타나는 압력은 개선 펌프에서 506.9 kpa, 기존 펌프에서 430.3 kpa로 개선 펌프가 기존 펌프보다 17.8% 증가하였다. 최대 토출 유량은 개선 펌프에서 633.3 mL/min, 기존 펌프는 610 mL/min으로, 개선 펌프가 기존 펌프보다 17.62% 증가하였다. 최대 토출 유량점에서 펌프의 압력은 개선펌프에서 269.5 kpa, 기존 펌프에서 228.9 kpa로 개선 펌프가 기존 펌프보다 17.77% 증가하였다. 펌프의 성능지표인 효율, 토출 유량, 압력이 모두 크게 나타나 개스킷의 형상에 따른 펌프의 성능 최적화가 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있다.

본 연구에서 사용된 펌프는 석션 기능을 가진 칫솔제품[16]에 적용하기 위한 것으로 제품 특성상 이물질이 유입되는 경우가 많아, 개스킷에 이물질이 쌓이게 되면서 펌프가 액체를 흡입하지 못하는 문제점이 있다. 이물질이 쌓이지 않도록 하기 위해서는 석션 유로와 토출 유로의 면적을 모두 증가시키는 것이 필요하나 최적의 펌프 수동력을 얻기 위해서는 두 면적의 비가 중요하다. 본 연구의 결과에 비추어 볼 때, 토출 유로의 면적이 석션 유로의 면적보다 2-3배 정도 큰 것이 가장 적절한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실험을 통해 소형 다이어프램 펌프의 개스킷 형상과 흡입되는 이물질의 크기에 따른 펌프의 성능 변화를 평가하고 최대 수동력을 가지도록 하는 개스킷의 석션 유로면적 대비 토출 유로면적의 면적비를 도출하였다. 개스킷의 석션 유로 면적 및 토출 유로 면적이 클수록 펌프의 압력 및 토출 유량은 증가하며, 토출 유로 면적에 대한 석션 유로 면적비가 2.82일 때 평균적으로 가장 큰 수동력을 가진다.

개스킷 면적비가 2.82인 것을 개선펌프로 선정하여 개스킷의 면적비가 8인 기존 펌프와 비교했을 때, 수동력이 16.56% 증가하였다. 성능곡선을 비교해보면 개선펌프가 기존 펌프에 비해 최대효율이 27.39% 향상되었다. 최대 효율점에서 나타나는 압력은 17.8% 증가하였고, 최대 토출 유량 점에서의 토출 유량과 압력은 각각 17.62%, 17.77% 증가하였다.

펌프가 이물질을 흡입할 때 펌프의 압력과 토출 유량은 감소하며, 노즐직경에 대해 흡입하는 이물질의 직경비(DR)가 0.13일 때, 펌프의 토출 유량, 압력 그리고 수동력의 감소율이 가장 작게 나타난다.

후 기

이 연구는 중소기업기술정보원의 산학연협력기술개발사업(연구마을)에서 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다.

References

[1] Tacmina, n.d., viewed 8 May 2017, <http://www.tacmina.com/products/pump/motor/about.html>.

[2] Tuma pumpensysteme gmbh, n.d., viewed 10 May 2017, Electrical Double Diaphragm Pumps, <http://www.tumapumpen.at/upload/medialibrary/33_datasheet_EOD_1_Te.pdf>.

[3] Youn, S. W., 2004, Pulsation Dampener for Diaphragm Metering Pump, KSPE 2004 Autumn Conference, 36-40.

[4] Bae, J. H., Chung, W. J., Jang, J. H., Yoon, Y. H., Jeon, J. Y., 2015, Study of Pressure and Flux Pulsation to Design Optimum Valve-Plate Notch and Pulsation-Variables Analysis of Swash-Plate-Type Piston Pump, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:2 244-250

[5] Industry-University Cooperation Foundation Hanyang University ERICA Campus, 2010, Oil Pressure Type No Pulsate Pump, KR Patent : 10-2010-0125460.

[6] Crane Engineering, n.d., viewed 8 May 2017, <https://blog.craneengineering.net/how-do-air-operated-double-diaphragm-pumps-work>.

[7] Raje-Dia Pumps Pvt. Ltd., n.d., viewed 10 May 2017, Air Operated Double Diaphragm Pump, <http://rajediapumps.com/Raje-Dia_price% 20cataloge_2.pd

[8] Haan, M., Hans D. K., 2008, Plastic AOD Pumps - Safe Choice, World Pumps 2008:507, 28-30f>. .

[9] Dietzsch, C., 2011, AODD Efficiency Improvements, World Pumps,

2011:5 32-34.

[10] Ham, Y. B., Cho, W. Y., Seo, W. S., Yun, S. N., Park, J. H., Ahn, K. Y., 2006, Development of a Diaphragm Pump Driven by PZT Actuator, The Korean Society For Power System Engineering 2006 Autumn Conference, 469-472.

[11] Kim, H. J., Seo, Y. H., Kim, B. K., 2012, Design and Fabrication of PZT Disc Actuated Micro Pump for Bio-Applications (I): Optimal Design of Ring-Shaped Flab Valve Module, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 21:3 355-361.

[12] Kim, H. J., Chang, I. B., Seo, Y. H., Kim, B. K., 2012, Design and tuated MicroFabrication of PZT Disc Ac Pump for Bio-Applications (Ⅱ): Optimal Design & Fabrication of Embedding-Type PZT Module, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 21:3 362-367.

[13] Yang, E. H., Yang, S. S., Park, E. J., Yoo, S. H., 2012, Optimal Valve Design and Fabrication of an Electrostatic Micropump with p+ Diaphragms, Journal of KIEE, 9:4 236-242.

[14] Kim, J. H., Moon, M. C., Kim, J. H., Kim, Y. H., Kim, H. S., Han, K. H., Kim, Y. S., 2004, Fabrication and Characteristics of Thermopneumatic-Actuated Polvdlrnethvlstloxane Micropump, The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers C, 53C:6 342-346.

[15] Postech Co. Ltd, 2006, Diaphragm-Type Vacuum Pump, KR Patent : 10-0739042.

[16] Lee, S. M., 2016, Toothbrush Having Suction Funtionx and Washing Funtion, KR Patent : 10-1603239.

[17] Muhammad, M. G., 2008, Design Optimization of Valveless Micropump by Parametric Study of Diffuser/Nozzle Angle and Aspect Ratio, Master Thesis, Hanyang University, Republic of Korea.

[18] Seba Inc., 2016, Diaphragm Type Pump, KR Patent : 10-2016-0081244.

[19] Kim, S. C., 2001, Diaphragm Pump, KR Patent : 10-0291161.